

インドネシアにおける内水面の諸問題

内田 唯史*

はじめに

熱帯域は、今尚、豊かな自然環境に恵まれており、その潜在的価値は我々人類にとって計りしれないものがある。これらの熱帯域には、研究対象としても非常に興味深い内水面が多数存在するが、これら地域は開発途上国が多く、環境保全上、様々な課題を抱えているのが実状である。特に、アジア圏の途上国は、近年の急速な経済発展に伴う無秩序な開発の反動によって、多くの環境問題が顕在化していることは我々の広く知るところである。このため、熱帯域における自然環境管理の重要性から、環境関連分野に対する途上国への支援は、我が国の重点施策の一つとなっている。

アジアにおける熱帯の地にあつて、面積にして日本の5.2倍という東西に広大な国土を有



図1 インドネシアの群島

し、人口約2億人を擁するASEAN諸国第一の群島国家、それがインドネシアである(図1)。この国を語る時、まずはじめに多様性という言葉が思い浮かぶ。250を越える民族、これに伴う言語、文化並びに自然環境、その多様性は熱帯域の研究を志す研究者には興味が尽きない地域でもある。

本稿では、著者がJICA個人専門家として、インドネシア陸水学研究所に赴任し、環境工学に関連する研究の指導、助言に当たった2年間(1995~1997年)に垣間見たインドネシアにおける内水面の諸問題、その研究の現状及び当地で実施した共同研究の一端を紹介してみたいと思う。

1. インドネシアの内水面

(1) 概要

インドネシアの内水面積は、約1,400万ヘクタールと見積もられており、主要河川220、大規模な湖沼約50が全国に分布している。また、主にスマトラ、カリマンタン、イリアンジャヤには、約2,200万ヘクタールに及ぶ湿地が存在する。これら内水面については、1928年ドイツ人の研究者を中心に行われたスダ列島調査に始まり、これまで各大学や研究機関により多岐にわたる調査研究が行われ、全体像はほぼ明らかにされてきている。しか

* (財)九州環境管理協会環境部部長代理

し、これらの研究は、系統的な視点に欠け、これらを体系的にまとめたものは非常に少ない。

著者は、赴任期間にプロジェクトの一環として、湖沼に関する既存データの整理及び解析を行った。本プロジェクトによりまとめたインドネシアの湖沼、貯水池の分布及びその特徴の一部を以下に紹介する。

(2) 湖沼の分布

インドネシアの湖沼の多くはスマトラ、カリマンタン、スラウェシ及びイリアンジャヤにそれぞれ分布しており、ジャワ島は湖沼が少なく、大半が貯水池で占められているのが特徴である（図2～4）。これら湖沼は、Volcanic Lake, Tectonic Lakeの他、東カリマンタンのセマヤン湖にみられるように、雨季と乾季の水位変化が大きく、水域面積が極端に変化する湖沼もみられる。

インドネシアには、水域面積が10km²以上の主要な湖沼が48、10km²以下が72ほど存

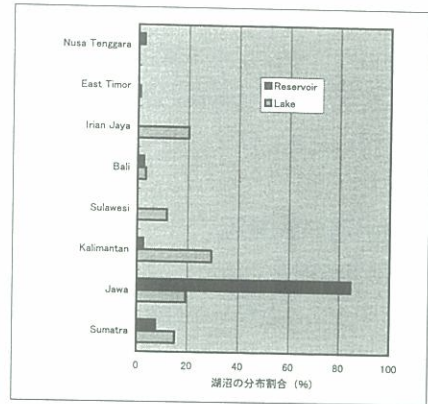


図2 インドネシアの湖沼、貯水池の分布

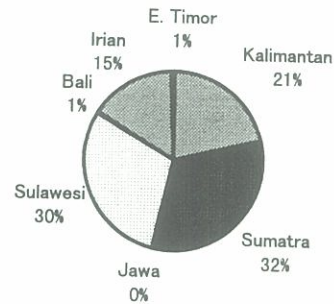


図3 湖沼の分布状況 (面積比)

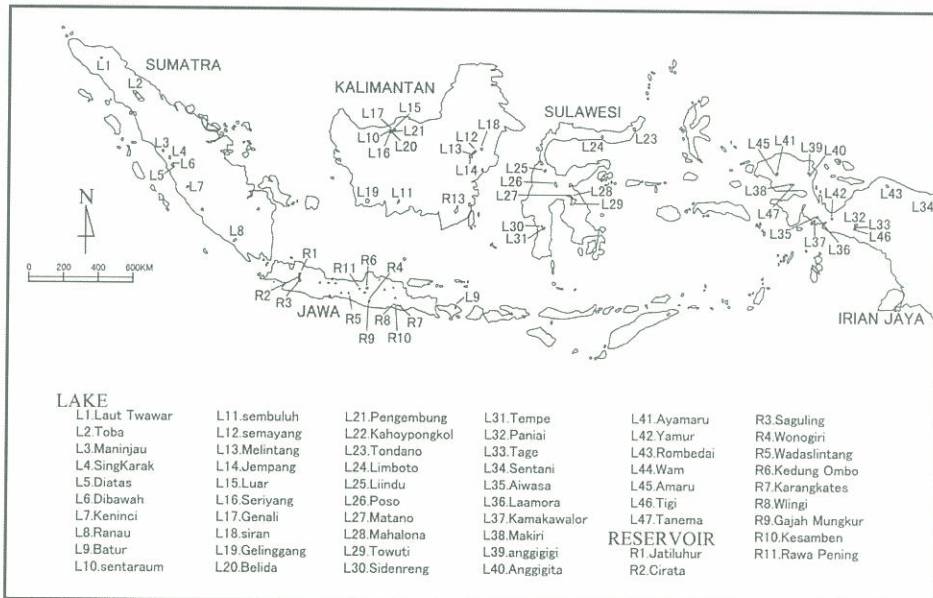


図4 インドネシアの湖沼の分布

在するが、水深や容積等の基本的な諸元が全て整理されているのは半数近くと思われる。特に、規模の小さな湖沼では、その実態がまだ明らかにされていない。

2. 内水面の諸問題

(1) 湖沼の荒廃

インドネシアの豊かな自然も近年の急速な近代化の波によって、各地で様々な歪みが生じており、内水面域においても水域環境の劣化は著しく、環境保全に対する早急な対応が求められている。以下に湖沼・湿地に関連する環境保全上の主要な問題点をまとめてみた。

①水質汚濁

近年、ジャカルタ、バンドン、スマラン、スラバヤなどの都市域では、生活雑排水の影響により河川・湖沼及び地下水の汚染が進行している。特に、住民の多くは、生活用水として、未処理の自然水を使用しており、健康被害が懸念される。また、都市域では約30%のゴミが未処理の状態にあるため、これらゴミが雨による洗い出しによって公共用水域へと流れ込み、水域環境の悪化を助長している。

工場排水も小規模工場からの廃水は、ほとんどが未処理のまま公共用水域に排出され、規模の大きな工場でも管理上の問題も加わって、十分な処理がなされていないのが現状である。また、毒性の高い重金属等も公共用水域に排出され、ジャカルタ近郊の河川では水銀、銅、並びにカドミウムの魚類への生態濃縮が報告されている¹⁾。これら工場等に対しては、法的な排水規制措置が施行されているものの、零細な企業体が多く、規制の効果は上がっていない。さらに、一般住民の環境保全に対する意識がほとんど無いことも、企業の

環境保全コスト負担の意欲を低くしており、排水基準の遵守を困難なものとしている。また、排水処理の過程における適切な技術者の絶対数が不足していることや環境保全、環境管理技術、及び環境教育が不十分なことなども被害を拡大している。

②沢沼化

森林伐採、耕作法の変化による土壌流出が沢沼化を進行させている。スラウェシのテンベ湖では、年間10~20cmの堆積速度で沢沼化が進んでおり、100年後にこの湖は消え去るだろうと言われている²⁾。また、トンダノ湖においても1934年に水域面積5,600ヘクタール、水深40mであったものが、1987年には4,380ヘクタール、水深18mに低下した。さらに深刻なのはリンボト湖で、1934年7,000ヘクタール、水深29mが、1987年には1,500ヘクタール、水深1.5mまで減少した。

③農薬

インドネシア政府は、1989年に農薬に対する補助金を廃止し、併せて総合的害虫防除プログラムの実施を通じて環境に配慮した農薬利用の推進を図っているが、依然、農業の近代化及び食料の増産を目的に、多量の農薬が使用されている。特に、問題なのは、今なお、有機磷系及び有機塩素系の殺虫剤が広く使用されていることである。マラリア予防の目的で使用されるDDTもスマトラでの使用が問題となっている。ジャカルタでは、農地ばかりでなく水質、底質並びにベントス、魚類等の生物からDDTの検出が報告されている³⁾。

④富栄養化と水生植物

近年、水域に対する流入負荷量のインパク

トは、急激に増大している。特に、都市化に伴う生活雑排水の流入は、水域の環境を損ねる主要な原因の一つである。また、これに伴いホテイアオイ、サンショウモ、ボタンウキクサ等の水生植物が異常繁殖して貧酸素化や漁業被害等を引き起こし、非常に深刻な問題となっている²⁾。カリマンタンでは約800万ヘクタールの開放水域のうち60%が、スマトラのクリンチ湖では水域の約30%がホテイアオイ、サンショウモで覆われている。また、水域環境を損ね、漁業生産の低下をも招くミクロキスティスの異常増殖がジャワ、スマトラ及びイリアンジャヤの一部の湖沼で発生し、漁業被害を拡大している。

⑤ 淡水生物の減少

現在、淡水生物のうち、魚類等、国際的な観点から絶滅が危惧されている種⁴⁾については政府の保護を受けているものの、他の貴重種、希少種の保全は十分でない。また、危急種等に対する調査研究も一部実施されているが、基本的な情報の収集整理は不十分である。この他、東カリマンタンのセマヤン湖、マリントン湖では、森林伐採にともない季節的な水位変動が増大し、餌となる魚類が減少したことにより淡水イルカが減少してきている。また、実体のほどは確認されていないが、イリアンジャヤでは淡水ザメの減少が問題視されている²⁾。

⑥ 漁業被害

河川、湖沼等の水質汚濁は、水域の貧酸素化を促し、養殖漁業に対して大きな影響を与えている。ジャカルタ近郊のエビ養殖場では、導水された汚濁河川水の影響により甚大なる被害を被った²⁾。また、先に示した沢沼化

は、魚類の繁殖域を消滅させるため、漁業生産を著しく減少させることになる。この他、Biological Pollutionとして、テラピア等の外来種の増殖による湖沼等の生態系の攪乱、及び、近年、減少はしてきているが薬物、爆薬使用による不適切な漁業等も漁業生産の低下を招いている。

⑦ 湿地環境荒廃

インドネシアには、スマトラ、カリマンタン、イリヤンジャヤに広大な湿地が分布しているが、湿地は開発が容易なこともあり、その面積が急激に減少してきている。1986年に公表された報告によると³⁾、本来の湿原である地域は約3,200万ヘクタールであるのに対し現存域は約2,200万ヘクタールと、30%あまりも減少している。また、農業立地に適切な湿地は560万ヘクタールと見積もられており、このうち、すでに60万ヘクタールは埋立ての対象とされている⁵⁾。中央カリマンタンでは、実に100万ヘクタールに及ぶ湿地の埋立計画が進められており、現在、環境アセスメントが実施されているところである。

(2) 課題

内水面の環境保全に関する長期的な課題としては、次の点に集約される。

- I. 環境保全関連法令の整備、運用強化
- II. 内水面域の環境情報の整備
(河川、湖沼、湿地の情報整備)
- III. 環境管理計画の策定
(土地利用のゾーニング、アセスメント)
- IV. 社会インフラの整備
(下水道整備、ゴミ処理等)
- V. 環境教育の実施(人材育成、知識普及)

VI. 陸水域の調査、研究

(改善技術、生物保全、モニタリング)

VII. 環境改善のためのケーススタディ

(環境改善事業)

湖沼・湿地の保全における施策には、数多くの環境要素が含まれており、関連する既往のプロジェクトも多岐にわたっている。我国も社会インフラの整備に関連して、「下水道整備計画」に係る関連プロジェクトへの支援を行ってきている。1992年にはJICAの無償資金・プロジェクト方式技術協力により、インドネシア環境管理センター（EMC）が設立され、環境モニタリングの実施、環境情報システムの構築及び環境トレーニングをとおしての人材育成等、環境行政の強化を目指した幅広い活動が行われている。

3. 陸水学研究の現状

(1) 概要

内水面の諸問題を解決し、健全な開発と保全を図るためには、陸水学の研究が非常に重要となるが、ここインドネシアではこれまでこれら水域に関する基礎的な科学情報の整理が十分に行われてきたとは言い難い状況であった。過去、インドネシア国内の大学や国立の研究機関を中心として研究が進められてきたが、重要性の増す内水面域のより充実した研究体制を整えるため、インドネシア政府は1986年にインドネシア科学院（LIPI：INDONESIAN INSTITUTE OF SCIENCES）の一研究機関として、インドネシア陸水学研究開発センター（Research and Development Center for Limnology）を設立し、内水面域の生物資源及び水域環境全般の本格的な研究を開始した。我国において

も、これら内水面域の研究を支援するため、当研究所に対して1990年よりJICAの専門家を派遣し、関連分野の技術移転を行うと伴に陸水学の諸研究に対処するため、分析機器等の基本的な施設整備及びこれに関連する技術移転を実施してきている。

著者は1995～1997年にかけて本研究開発センターにて、環境工学関連分野の技術指導、共同研究等に従事した。この紙面を借りて、当研究開発センターの概要及び研究の現状等について紹介してみたい。

(2) 陸水学研究開発センター

陸水学研究開発センターでは、インドネシア科学院の自然科学部門における陸水学分野の研究を行っており、内水面域の河川、湖沼、湿地及び河口域を研究対象としている。本研究センターにおける主な業務内容は次のとおりである。

- ① 研究開発の計画立案
- ② 内水面域の調査・研究
- ③ 国内外の研究機関との共同研究
- ④ 当該分野の科学技術の向上
- ⑤ 陸水学関連の科学情報サービスの提供
- ⑥ 陸水域の科学技術に関する政策の立案



インドネシア陸水学研究開発センター

⑦研究及び開発成果の公表・出版

本研究開発センターは、インドネシア科学院の自然科学部門における一研究機関として位置づけられている。研究体制は、生物関連を研究する Division of Research and Development for Aquatic Biology と内水面域の諸現象を研究する Division of Research and Development for Aquatic Dynamic とに分かれている。また、データ等の情報管理を所管する Subdivision of Service and Information が Division of Administration の下に置かれている。



インドネシア科学院の組織体系

当研究開発センターのスタッフは合計 77 名であり、その内訳は研究員 35 名（博士 4 人、修士 6 人、学士 25 人）、技術員 17 名、事務職 25 名である。研究レベルは、設備の不備や経験不足から、まだ、これからに期待するところが大きい。国立の研究機関だけあって、研究スタッフはインドネシアでも選り抜かれた優秀な人材が多い。

(3) 研究システム

インドネシアにおける研究システムは、はじめに Replita (レプリタ)⁶⁾ と呼ばれる国の 5 年計画に沿って、各研究機関から企画書が提出され、この提案書が国の審査会で審議さ

れ後、これに認められた研究プロジェクトのみが研究費を与えられる。プロジェクトは、通常、5 年計画で作成されるが、研究が 1～2 年経過した後、成果が上がらなければ予算はカットされる。また、研究半ばで研究費が付かなくなることもしばしばあり、継続的研究を困難なものとしている。このため、計画的、系統的な研究体制がとり難く、まとまった研究成果を期待できないという悩みを抱えている。

4. 荒廃した内水面の研究事例

(1) 研究概要

ここでは、内水面の環境悪化の事例として、研究開発センターにおいて実施したプロジェクトの中より、荒廃した流域の水域改善を目的とした研究について述べる。

本プロジェクトは、水域の環境保全技術移転の一環として、貯水池の水質調査、汚濁解析、水質シミュレーションモデルの作成、及び水域の保全対策の検討を目的として実施したものである。研究の期間は、1996 年 1 月から 1997 年 5 月の間であり、研究は環境工学、生物学、水産学の各研究員並びに技術員によるプロジェクトチームを作り、これを母体として推進した。

(2) 研究対象水域

研究対象水域は、ジャワ島の西、バンドン市の南西に位置するサグリン貯水池及びその流域である (図 5)。5,960km² に及ぶ本流域には、全長 315km のチタルム川が流下している。本流域は、インドネシアでも有数の繊維

産業の集積地帯として知られ、大小約1,000に及ぶ工場が立地している。これら工場の多くは零細であることから、廃水はほとんどが未処理で放流され、また大規模工場も処理施設の維持管理の未熟さから、処理が不十分なまま水域へと排出されている。このため、チタルム川の水質は劣悪を極めると共に、本河川の流入するサグリン貯水池においても水質の汚濁が著しく、富栄養化、発電用タービンの腐食、貧酸素化、及びこれに伴う養殖魚の大量斃死が問題となっている⁷⁾。

(3) サグリン貯水池流域

① 土地利用

本流域の土地利用は、図6に示すとおりであり、水田・畑地が54%を占め、流域の半分以上が農地として利用されている。また、森林も40%の広がりを持ち、特に、サグリン貯水池の周辺部の大半は森林で占められている。

② 流入汚濁負荷量

本流域におけるCOD、リン、窒素の流入負荷量を原単位法により求めた。CODの推算結果を図7に示す。流域からの流入負荷量は約80



図5 サグリン貯水池の流域

%が工場に由来し、また、この工場のうち90%以上が繊維関連工場で占められている。サグリン貯水池上流部のこれら工場が立地する河川域には、未処理廃水が直接流入しており、水質汚濁の主要因となっている。

この他、都市域では下水道整備の遅れから、生活雑排水も少なからぬ影響を与えている。

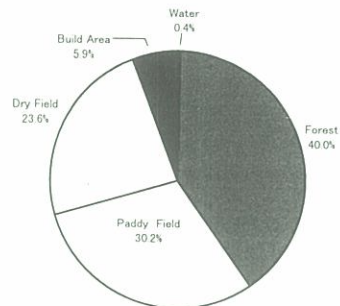


図6 サグリン貯水池流域の土地利用状況

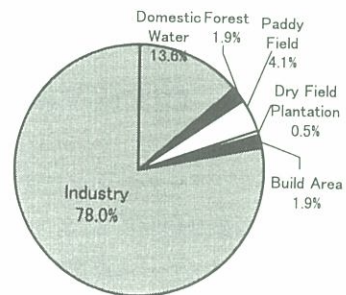


図7 流入負荷量の内訳

③ 気象

熱帯の地であるインドネシアの気候は、乾季(5~10月)と雨季(11~4月)の2シーズンであり(図8)、年間の降雨量は同一流域内で1,800~4,000mm/年と地域によって大きな差がみられる。気温は、年間通じて30°C前後で変化は少ない。

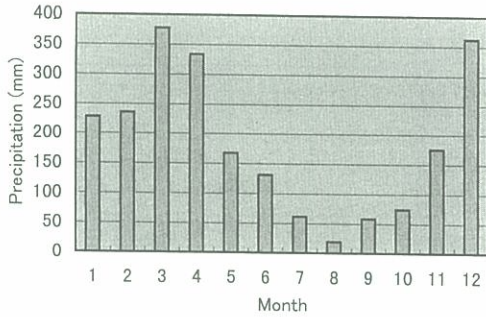


図8 年間の降水量 (1990)

④水質

a. チタルム川

1996年7月から1997年1月にかけて、乾季、雨季それぞれ2回の水質調査を実施した。

本河川の水質は、溶存酸素濃度 (DO) の上流域から下流域への変化を見れば明らかである (図9)。上流域のDOは、ほぼ飽和状態にあるが、工場が立地するR2地点上流あたりから、溶存酸素が急速に消費され、DO濃度は0mg/lを示し、絶対嫌気の状態となっている。また、水色は、墨汁のように真っ黒く、硫化水素臭が周辺にたち込め、底泥はメタン発酵を起こしている。河岸には、ゴミが体積し、住民の生活環境は劣悪なものとなっている。特に、乾季は、流量が少なく水質は最悪の状態を示した。また、このような河川で、子供たちが泳いだり、農業用の取水が行われるな

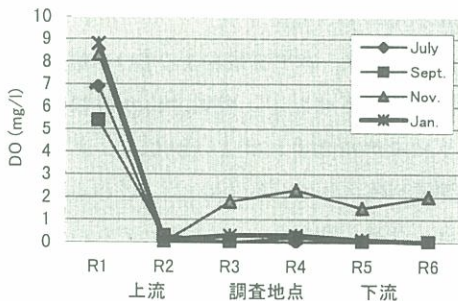


図9 溶存酸素濃度の変化

ど、人体への影響が懸念される。

b. サグリン貯水池

荒廃河川のチタルム川が流入するサグリン貯水池においても、水域環境は著しく阻害されている。特に、図10に示すとおり乾季の流入域では全層無酸素状態となっており、底質はメタン発酵を起こし、表層はメタンの気泡が立ち込めている。また、湖心からダムサイトにかけては表層における植物プランクトン



チタルム川



荒廃河川で泳ぐ子供達

のBloomingにより、溶存酸素は過飽和となっているが、酸素が存在するのは有光層の水深4~6mまでであり、中層から底層にかけては溶存酸素が消費され無酸素状態となっている。

熱帯域の湖沼では、降雨、風の影響を直接

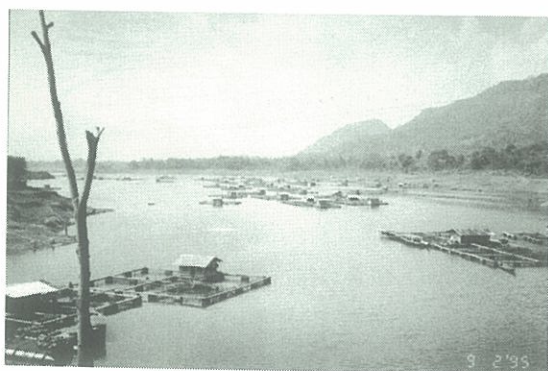
受ける表層は、乾季と雨季で多少の水温変化が見られるが、年間おとして水温の鉛直分布にほとんど差はみられない（図11）。このため、一旦、貧酸素水塊が形成されると鉛直循環が起り難く、この水塊の滞留は長期にわたる。

また、表層においては、雨季、水温より温度の低い雨が大量に降ると、密度差により表層水塊と下層の貧酸素水塊との転倒が生じ、表層水は硫化水素により乳白色となり、溶存酸素が急激に減少する。この現象は、雨季にたびたびみられ、サグリン貯水池において広範に実施されている養殖業に対し、毎年甚大な被害を及ぼしている。1993年には約850トンに及ぶ養殖魚が本現象により斃死し、その被害額は17億ルピアに達した。

この他、本流域からは重金属等の有害物質も流入しており、流域全体の水質改善を図ることは緊急の課題となっている。

(4) モデリング

サグリン貯水池流域の水域環境改善のため、数値モデルを用いた水質シミュレーションモデルの検討を実施した。モデルは、現地調査によって得られた結果を基に、主としてサグリン貯水池の酸素濃度の変動を再現する



サグリン貯水池と養殖場

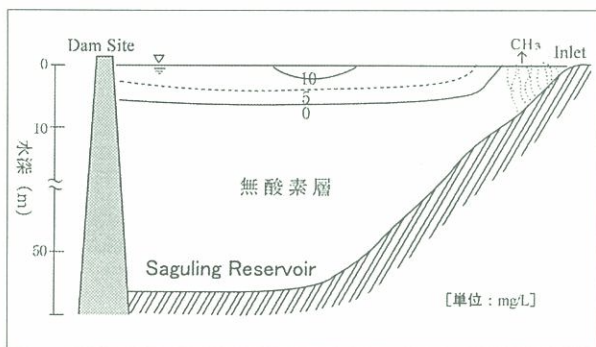


図10 DOの鉛直分布（乾季：1996年9月）

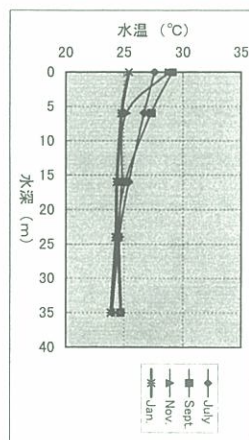


図11 水温の鉛直分布

モデルの構築を行った。この数値モデルは、陸水研究開発センターよりJICA研修員としてエコーハルソノ氏が来日し、当協会システム課職員の指導の基に検討が行なわれた。

モデルは2次元鉛直モデルを適用し、サグリン貯水池のDO濃度予測モデルの検討を行った。この結果、本モデルによりDOの鉛直分布を概ね再現させたが、表層での水循環をどのようにモデル化すればよいかなど、まだ多くの課題が残されている（図12）。この点については、今後、引続きインドネシアとの共同研究によって、実態に則したモデルを完成すると共に、適切な保全対策が実施されることを期待したい。

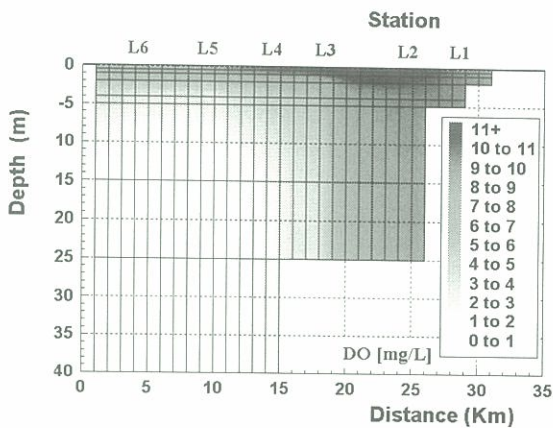
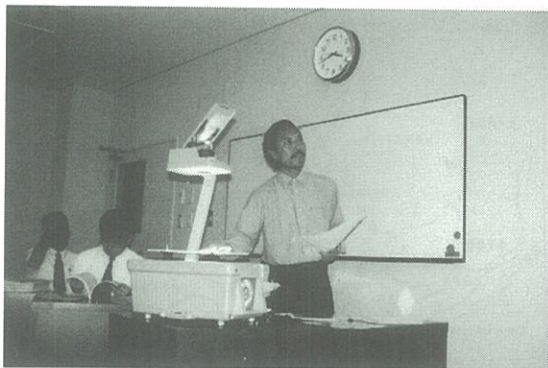


図12 数値シミュレーションによる
DOの現況再現結果



エコー氏の研修報告会（1997年当協会にて）

おわりに

大変雑駁なまとめとなってしまったが、2年間の赴任経験からインドネシアの内水面域を取り巻く問題、及び研究事情の一端を述べさせてもらった。

インドネシアは、多様な水辺の空間を有し、その潜在的価値は我々人類にとっても非常に貴重であるが、途上国であるこの国は社会システム上、国内に様々な問題を抱えており、研究環境も我々の常識では推し量れないことが数多い。さらに、研究設備や研究費も不十分であるばかりでなく、基本的な機器、器材の維持管理面からくるトラブルが多く、研究

の基盤を維持することにかかなりの労力を要している。これらの課題を克服し、内水面の研究や環境保全を推進して行くためには、人的資源をいかに育成するかがポイントであろう。この点については、昨今のODA予算緊縮の中で、地味で際立った成果が得られづらい人造りのための援助に対して、理解が得られ難くなってきていることは非常に残念なことである。

今後、残された熱帯域の貴重な自然を適正に管理し、人造りに貢献するためにも継続的な支援が積極的に展開され、これによって日本とインドネシアの人的交流がさらに深まることを願って止まない。

参考文献

- 1) K.Palupi : River Water Quality Study In The Vicinity of Jakarta, Wat.Sei. Tech, Vol.31, No.9, p17~25, (1995)
- 2) Nontji.A : The Status of Limnology in Indonesia, p10~24, (1994)
- 3) U.S.Department of Commerce : Natural Resources and Environmental Management in Indonesia, P19~40, (1987)
- 4) Endangered Species at the Fresh Water Area in Indonesia, Limnologi dan Pembangunan, p92~95, (1986)
- 5) The World Bank : A World Bank Country Study, Indonesia, Environment and Development, p35~58, (1994)
- 6) Five Year Development Plan, Guide line, p53~54, (1994)
- 7) Nana Terangna Bukit : Water Quality Conservation For The Citarum River in West Java, Wat.Sei.Tech, Vol.31, No. 9, p1~10, (1995)